

Ильин Д. В., аспирант,
Вердиян М.А., д-р техн. наук,
Несмеянов Н.П., канд. техн. наук

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

КОМПЛЕКСНАЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ЦЕМЕНТНЫХ ЗАВОДОВ

Avgyst17vosc@yandex.ru

В статье описывается обеспечение минимальной дисперсии активности эксергии получаемого цемента с требуемым химико-минералогическим составом и распределением частиц по размеру.

Ключевые слова: комплексная технологическая безопасность, себестоимость цемента, энергетическая эффективность, конкурентоспособность (КС) цементных заводов.

Актуальность проблемы. Термин «безопасность» является в настоящее время современным и адекватным сегодняшнему уровню развития всех сфер жизнедеятельности человека. Появление признака безопасности – это наличие опасного состояния и возможности его регулирования.

Актуальность постановки работы определяется возникшими на заводе новыми дополнительными условиями получения цемента, связанными с использованием новой техники и технологии и необходимостью появления новых дополнительных параметров контроля его качества – дисперсии эксергии выходных параметров $D(E)$.

Новые условия получения цемента обусловлены:

а) резким изменением физико-химических (ФХ) и физико-механических (ФМ) свойств сырьевых компонентов, что приводит к увеличению дисперсии всех выходных параметров $D_{\text{вых}}$ сырьевой смеси;

б) появлением агрегатов $Q_{\text{агрегата}}$ большой единичной мощности с максимальным значением дисперсии входных параметров $D_{\text{вх}}$;

в) производительностью цементных мельниц много больше объема отгружаемой партии $Q_{\text{вых}} [\text{т/час}] \gg Q_{\text{отгр.}}$;

г) старой системой подготовки специалистов, когда уровень российского образования специалистов-цементников соответствовал уровню развития существующих цемзаводов и не соответствует требованиям создания новых заводов, выполненных в виде автоматизированных технологических комплексов (АТК), и отсутствием поэтому на заводе подготовленных технологов-управленцев, владеющих методом системного и эксергетического анализа процессов;

д) каждая подсистема включает необходимость управления ею, которая сводится

к стабилизации дисперсии выходных параметров.

Научно-методические основы. Для цементного завода должна создаваться комплексная система безопасности, учитывающая все составляющие завода как большой системы и обеспечивающая устойчивое и успешное ее функционирование.

Главная составляющая комплексной системы безопасности – это ее технологическая часть, которая охватывает все процессы превращения материальных потоков от выбора исходных компонентов сырьевой шихты, приготовления на ее основе сырьевого шлама с процессами дозирования, дробления, измельчения и перемешивания шлама; получения клинкера и цемента на его основе.

Разработана система комплексной технологической безопасности (КТБ), которая может и должна быть реализована на каждом цемзаводе. Она включает в себя три технологические подсистемы «шлам – клинкер – цемент».

Главное назначение системы КТБ – это обеспечение минимальной дисперсии активности и эксергии получаемого цемента с требуемым химико-минералогическим составом и распределением частиц по размеру, т.е. цемента с требуемой эксергией. Эта задача решается комплексно для 3-х подсистем, на которых $D(E)_{\text{цем}} = D(KH, n, p) + D(A_{\text{кл}}) + D(A_{\text{цем}})$ – реализуются минимальные дисперсии 3-х выходных параметров: шлама; клинкера и цемента.

Превышение дисперсии выходных параметров над заданным значением приводит к подрыву управляемости КТБ. Особенно это касается качества выпускаемого нами цемента, т.к. зачастую от закупающих у наших цемзаводов продукцию «поступает большое количество рекламаций заводам, изготавливающим этот продукт». Речь идет в них прежде всего о колебаниях активности

цемента, не соответствующих заданному значению.

Разработаны новые научно обоснованные критерии конкурентоспособности (КС) цементных производств и качества цемента (КЦ). Предлагается критерий оценки качества цемента КЦ, отражающий его энергетическую составляющую. Он учитывает эксергию цемента

$$E_{\text{цем.}} \left[\frac{\text{кДж}}{\text{кг}} \right], \text{ концентрацию эксергии цемента}$$

$$E_{\text{цем.}}/d_{\text{ср}}, \left[\frac{\text{кДж}}{\text{кг.мкм}} \right] \text{ и его активность в}$$

различные сроки твердения $A_{\text{цем.}}$. Значение критерия КЦ определяется через произведение этих характеристик цемента и записывается в виде

$$\text{КЦ} = E_{\text{цем.}} \times \Sigma A_{\text{цем.}} \text{ или } \text{КЦ} = E_{\text{цем.}}/d_{\text{ср}} \times \Sigma A_{\text{цем.}}, \quad (1)$$

где $\Sigma A_{\text{цем.}}$ – интегральная активность цемента, учитывающая различные сроки твердения,

$$\Sigma A_{\text{цем.}} = A_1 + A_2 + A_3 + A_7 + A_{28}. \quad (2)$$

В качестве единицы измерения принимается размерность для уравнения (1)

$$\frac{\text{кДж}}{\text{кг}} \times \frac{\text{кг}}{\text{см}^2} = \frac{\text{кДж}}{\text{см}^2} = 10 \frac{\text{МДж}}{\text{м}^2} \quad \text{или}$$

$$\frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{мкм}} \cdot \frac{\text{кг}}{\text{см}^2} = \frac{\text{кДж}}{\text{см}^2 \cdot \text{мкм}} = \frac{10 \text{МДж}}{\text{м}^2 \cdot \text{мкм}}$$

Пример: для ПЦ-500-Д0 $\Sigma A = 1238 \text{ кг/см}^2$;

$$E_{\text{цем.}}/d_{\text{ср}} = 293 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{мкм}},$$

тогда критерий: $\text{КЦ} = 1238 \times 293 = 362734$

$$\frac{\text{КДж}}{\text{см}^2 \cdot \text{мкм}}$$

Критерий КЦ отражает энергонапряженность цемента, как дисперсной системы, поскольку учитывает их энергетические характеристики: эксергию цемента $E_{\text{цем.}}$, его концентрацию $E_{\text{цем.}}/d_{\text{ср}}$ и активность цемента в различные сроки твердения.

Энергонапряженность – это максимальная плотность энергии, которую получает частица в ходе его механотермохимического превращения из исходного сырья в цемент. Влиять на энергонапряженность цемента, т.е. изменять плотность энергии частицы можно в отдельных технологических переделах (сырье-шихта, шихта-шлам, мука-клинкер – цемент производителя – цемент потребителя).

Определяющую роль при формировании строительно-технических свойств материалов на их основе играют энергонапряженность цемента

и среда, в которой происходит процесс твердения вяжущего.

Мерой эффективности этого процесса может служить широко используемые и успешно проверенные в практике НИР по измельчению и обжигу клинкера (Вердиян М. А.) произведение константы скорости процесса твердения « k » (час^{-1}) на продолжительность (сроки) твердения τ (час). $k\tau$ – это безразмерная величина легко определяется из уравнения кинетики роста прочности первого порядка. $A_{\text{вых}} = A_{\text{вх}} \times e^{k\tau}$. Понятно, что чем больше величина $k \times \tau$ тем больше будет активность в последующие сроки.

С учетом кинетики роста прочности критерий качества цемента будет иметь вид:

$$\text{КЦ} = E_{\text{цем.}}/d_{\text{ср}} \times k\tau \quad (3)$$

Определение эксергии цемента как меры его работоспособности говорит в пользу того, что критерий КЦ характеризует максимум работоспособности цемента в изделиях, поэтому $\text{КЦ} \rightarrow \text{КЦ}_{\text{max}}$. Цементы с высоким значением КЦ – это цементы с высокой концентрацией (плотностью) эксергии и повышенной суммарной активностью. Такие цементы будут менее чувствительны к изменениям (ухудшению) условий эксплуатации строительных материалов на его основе.

При сравнении цементов различных видов-марок и различных партий одной видо-марки цемента лучшим по качеству будет тот цемент, у которого критерий КЦ будет большим.

С учетом критерия конкурентоспособности цемента (1) ясно, что

$$\left[\frac{E_{\text{цем.}}}{d_{\text{ср}}} \times \Sigma A \right]_{\text{модр}} > \left[\frac{E_{\text{цем.}}}{d_{\text{ср}}} \times \Sigma A \right]_{\text{срх}}$$

В реальных условиях качество одной видо-марки цемента всегда меняется, зачастую не в интересах потребителя. Количественно это отражается в изменении величин эксергии контролируемых параметров.

В качестве меры этих изменений выступает дисперсия колебаний эксергии выходного контролируемого параметра $D(E)$. Из классического определения понятия дисперсии следует, что нужно так организовать процесс превращения материала, чтобы получить $D(E)_{\text{min}}$. $D(E)_{\text{min}}$ – это критерий минимума дисперсии эксергии выходного контролируемого параметра. Главное назначение этого критерия – это оценка степени стабилизации выходных параметров на всех технологических стадиях. Только при

получении D_{\min} достигаются минимальные энергозатраты \mathcal{E} , т.к.

Описанных нами в работах [1–4], позволяет определить для каждого завода степень его энергетической эффективности. Сравнительная оценка эффективности работы различных цементных заводов имеет важное научно-практическое значение, поскольку такая оценка, во-первых, определяет рыночную привлекательность каждого завода, формирует его стоимость, отражая качество его работы и во-вторых, дает возможность объективно выбирать пути дальнейшей модернизации действующих производств и конкретный способ нового производства цемента.

В настоящей работе приводятся результаты расчетов критерия КС ряда цементных заводов мокрого (№ 1–7, 9, 11, 14) и сухого (№ 8, 10, 12, 13) способов производства, являющихся весьма показательными для сравнения, о чем свидетельствуют основные технико-экономические показатели их работы (см. таблицу).

Предлагаемый критерий КС определяется отношением себестоимости цемента к его качеству. При этом себестоимость цемента C выражается в кВт·ч/т, а качество цемента – в значениях его эксергии $E_{\text{цем}}$ (МДж/т), также выраженной в кВт·ч/т через известное соотношение универсальной единицы измерения работы, энергии: 1 кВт·ч = 3,6 МДж. Выражение для КС имеет вид

$$КС = \frac{3,6C(\mathcal{E})}{E_{\text{цем}}; E_{\text{цем}} / d_{\text{cp}}}; \quad (4)$$

$$C(\mathcal{E}) = \frac{\mathcal{E}}{a} \cdot 100\%, \text{ кВт·ч/т}; \quad (5)$$

где $C(\mathcal{E})$ – себестоимость цемента, выраженная через общий удельный расход электроэнергии \mathcal{E} на получение 1 т Цемента и его долю a в общей структуре себестоимости. Пример, $\mathcal{E} = 90$ кВт·ч/т, $a = 15\%$.

$$\text{Тогда } C(\mathcal{E}) = \frac{90 \cdot 100}{15} = 600 \text{ кВт·ч/т.}$$

По прогнозам известного фантаста Артура Кларка, в 2016 г. все человечество перейдет к новой единой мировой валюте – кВт·ч. Поэтому целесообразно принять единую систему расчета цены цемента. Необходимо выдвинуть требование для ЗАО «ЕВРОЦЕМЕНТ групп» производство, планирование и продажу цемента проводить не в деньгах, а в натуральных единицах затрат кВт·ч/т, или – что еще точнее – в эксергетических характеристиках МКдж/т.

Чем меньше безразмерный критерий КС, тем лучше сравниваемый цемент и технология

его получения, поскольку данный критерий отражает энергетическую эффективность отдельного цементного производства и учитывает общие энергозатраты на получение 1 т цемента, которые необходимо уменьшать, и качество цемента, которое следует повышать. Поэтому необходимо стремиться к минимальному значению критерия, т. е. к $КС_{\min}$.

Методика и примеры определения критериев КС и КЦ подробно представлены в работах [1–4] и здесь не рассматриваются. Отметим лишь, что исходными данными при этом являются: параметры работы завода: \mathcal{E} , a ; количество и качество каждой отгруженной партии цемента ($E_{\text{цем}}/d_{\text{cp}}$), выраженное через химико-минералогический состав; распределение частиц по размерам (РЧР), определяемое на лазерном гранулометре; активность цемента A в различные сроки твердения (1, 2, 3, 7 и 28 сут).

Анализ результатов расчета показывает, что:

1. Оценка работы цементных заводов только по отдельным показателям, в том числе по себестоимости цемента, приводит к искаженным результатам и, соответственно, к принятию неверных решений по интенсификации производства. Это касается главного вопроса – выбора сухого или мокрого способа производства цемента.

2. Эффективность работы цементного производства следует оценивать по комплексному показателю, одновременно учитывающему энергетические затраты и качество выпускаемого клинкера, цемента. Таким показателем является критерий конкурентоспособности производства.

Управление (У) комплексной (К) технологической (Т) безопасностью (Б) цементного производства включает ряд взаимосвязанных технологических подсистем, охватывающих все производство цемента. Необходимо создание Совета безопасности в ЗАО «ЕВРОЦЕМЕНТ групп». В расширенный состав включить институт советников. Для реализации системы КТБ необходимо создание на каждом цемзаводе научно-технического интеллектуального центра.

Для достижения минимальной дисперсии колебаний параметров $КН_{\text{шлама}}$, активности клинкера $A_{\text{кл}}$ и активности цемента $A_{\text{сж}}$ были выполнены расчетно-теоретические и экспериментальные исследования в диссертационных работах учеников профессора Вердяна. Алгоритм и ноу-хау этих исследований успешно используются при их внедрении на любом цемзаводе.

Таблица 1

**Расчетные значения активности цемента при равенстве для заводов критерия
 $K_{C_{min}}=1,405$**

№	Средняя активность цемента кг/см ²	Себестоимость руб/т без НДС	Электроэнергия на производство цемента			Себестоимость цемента кВт.ч/т	Себестоимость цемента руб/т	Средняя актив. цемента кг/см ²	Средняя расчетная актив. цемента кг/см ²	Разница между средней расчетной актив. и средней.
			Удельный расход электроэнергии кВт.ч	Средний тариф руб/квт.ч без НДС	Доля в себестоимости цемента					
1	3	4	6	7	8	9	10	11	12	13
1	492,3	669,0	108,0	1,18	18,3	590,16	696,39	492,3	495,65	3,3
2	483,0	696,8	94,8	1,31	18,3	518,03	678,62	483,0	483,00	0
3	451,6	620,5	100,1	1,36	20,3	493,10	670,62	451,6	477,30	25,7
4	485,0	759,0	85,5	1,37	15,4	555,19	760,61	485,0	541,35	56,35
5	406,0	681,7	121,7	1,00	17,7	687,57	687,52	406,0	489,37	83,37
6	400,0	731,3	105,0	0,92	13,7	766,42	705,10	400,0	545,49	145,49
7	400,0	631,3	127,8	1,14	22,6	565,48	644,65	400,1	458,82	58,82
8	421,0	635,3	129,2	1,06	21,5	600,93	636,98	421,0	453,36	32,36
9	419,8	979,1	129,1	1,03	13,8	935,50	963,57	419,8	685,81	266,01
10	418,0	708,8	192,4	1,20	32,4	593,82	712,59	418,0	507,18	89,18
11	400,0	1058,1	143,1	1,39	19,1	749,21	1041,4	400,0	741,20	341,20
12	412,5	627,4	161,8	1,00	25,1	644,62	644,62	412,5	458,80	46,30
13	442,3	778,0	132,6	1,14	19,5	680,00	775,20	442,3	551,74	109,44
14	417,0	602,2	129,5	0,62	14,7	880,95	546,10	417,0	627,0	210,00

Примечание: 1. ЗАО «Мальцовский портландцемент» 2. ЗАО «Осколцемент» 3. ЗАО «Кавказцемент» 4. ЗАО «Белгородский цемент» 5. ЗАО «Пикалевский цемент» 6. ЗАО «Ульяновскцемент» 7. ЗАО «Михайловцемент» 8. ЗАО «Липеццемент» 9. ЗАО «Жугулевские стройматериалы» 10. ЗАО «Катавский цемент» 11. ЗАО «Савинский цементный завод» 12. ЗАО «Невьянский цементник» 14. ЗАО «Ахтангаранцемент» 13. ЗАО «Подгоренский цементник»

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Вердиян М.А.. Новые принципы анализа и расчета процессов измельчения твердых тел в технологии цемента // Автореферат диссертации д-р. тех. наук. М., МХТИ. 1983. С. 50

2. Вердиян А.М.. Оптимизация состава сырьевых шихт и параметров комбинированной системы обжига клинкера на основе эксергетического анализа // Автореферат диссертации канд.тех.наук. М., РХТУ им. Д. И. Менделеева. 2000. С. 16.

3. Вердиян М.А., Бобров Д.А., Несмеянов Н.П. и др. Эксергетический анализ процессов химической технологии (на примере

технологии цемента) // Учебное пособие. Москва. 2004. С. 91.

4. Несмеянов Н.П., Богданов В.С., Вердиян М.А., Ильин Д.В. Дополнительные критерии оценки качества цемента // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2012. №2. С. 22-24.